

**PRESENTATION DE LA COMPOSANTE GUYANAISE
DU PROGRAMME FORET NATURELLE**

**CIRAD-Forêt
45 bis, avenue de la Belle Gabrielle
94736 NOGENT-SUR-MARNE Cedex (France)
Novembre 1994**

INTRODUCTION

Les travaux d'étude de l'écosystème guyanais menés par Sylvie GOURLET-FLEURY, Vincent FAVRICHON et Agnès DOLIGEZ s'insèrent dans un projet baptisé provisoirement :

"Connaissance de la structure et de la dynamique des écosystèmes forestiers tropicaux"

et piloté par le Programme Forêt Naturelle du CIRAD-Forêt.

Ce projet prend appui sur différents dispositifs installés non seulement en Guyane mais aussi en

Côte d'Ivoire, RCA, Brésil, Indonésie, Gabon, Congo, Nouvelle-Calédonie

Il mobilise de nombreux chercheurs :

Nogent :

MAÎTRE, LOFFEIER, DURRIEU DE MADRON (Programme Forêt Naturelle)
HOUDE, LEDOUX, BLANC (Unité de Recherche ANIS)

Côte d'Ivoire :

DUPUY, + chercheur à recruter (Programme Forêt Naturelle)

RCA :

un Coopérant du service national

Indonésie :

BERTAULT, SIST (Programme Forêt Naturelle), un Coopérant du service national

Notre objectif est de caractériser la composante arborée de ces écosystèmes et d'en étudier le dynamisme avec pour finalité notre capacité à agir au profit de leur exploitation durable et de leur conservation.

L'approche scientifique retenue est, du point de vue méthodologique :

- comparative (confrontation de différents écosystèmes plus ou moins perturbés : Afrique, Amérique du sud, Asie),
- modélisatrice (recherche d'une méthode de modélisation bio-mathématico-informatique apte à rendre compte par simulation des évolutions potentielles des écosystèmes).

La stratégie générale de mise en oeuvre des moyens est basée sur le partenariat et tournée vers le développement :

- association avec des partenaires de recherche et de développement (exemple : Silvolab),
- mise en place de nombreux projets d'aménagement assurant l'opérationnalité des résultats de la recherche.

Au regard de ce qui vient d'être précisé, l'évaluation de l'équipe guyanaise est la première étape de l'évaluation du Programme Forêt Naturelle du CIRAD-Forêt.

CIRAD-Forêt

PROGRAMME DE RECHERCHE FORET NATURELLE

PERSONNEL :

| | | |
|----------------|---|--|
| Chercheurs | : | Sylvie GOURLET-FLEURY |
| | : | Vincent FAVRICHON |
| Thésard | : | Agnès DOLIGEZ |
| Techniciens | : | Guy BONNEMAISON (à temps partiel) |
| | : | Pascal PETRONELLI |
| | : | Claude THIERRY |
| | : | Nicolas PROTHERY (VAT Forêt) |
| Collaborateurs | : | Yves GUILLEMAIN (VAT Informatique à temps partiel) |
| | : | Max PASSOU (prospecteur) |
| | : | Mona BAISIE |
| | : | Onofé N'GWETE |

CHERCHEURS ASSOCIES :

Ce programme est mené dans le cadre du groupement d'intérêt scientifique Silvolab-Guyane qui regroupe le CIRAD, l'INRA, l'ORSTOM, l'ENGREF et l'ONF. Il implique aussi des contacts avec le MNHM, le CNRS et les universités de Paris VI et Montpellier II.

Le programme s'articule autour d'une **opération de recherche** principale et de diverses **études** que l'on décrira successivement ci-dessous. On évoquera ensuite les **relations avec l'extérieur** et la fonction de **formation et d'accueil** du programme.

OPERATION DE RECHERCHE : RECHERCHE SYLVICOLE SUR LES PEUPLE- MENTS NATURELS EN FORET DENSE GUYANAISE.

Dispositif "Forêt Naturelle" de Paracou

Objectifs :

Mise au point d'une sylviculture en forêt dense humide du plateau des Guyanes dans le souci d'un rendement soutenu respectant les conditions de milieu et la préservation de la diversité biologique. Evaluation de la faisabilité technique et économique d'un aménagement à grande échelle de la forêt dense guyanaise.

Durée prévue :

Ce programme a débuté en 1982 (première campagne de mesure en 1984) et doit impérativement être poursuivi à moyen terme (15 à 20 ans).

A. SUIVI "TRADITIONNEL" DES 12 PARCELLES DU DISPOSITIF INITIAL

- réalisation de l'inventaire campagne 10 : Octobre-Novembre-Décembre 1993 ;
- inventaire campagne 11 en cours ;
- saisie automatique et apurements des données pour mise à jour des fichiers FI Caapp.dat qui comprennent donc les mesures de circonférences de 1984 à 1993 ;
- dépouillement global des résultats fait en 1992 (à mettre à jour).

On se reportera si nécessaire aux textes analysant les premiers résultats (SCHMITT et BARITEAU (1990) et FAVRICHON et COIC (1992))

Sur ces parcelles, un programme d'évaluation de la qualité des arbres sur pieds (suite au stage de deux chercheurs hollandais en 1992), comprenant des mesures en scierie en collaboration avec le programme "Technologie du Bois", est en cours de définition.

B. EXTENSION DU DISPOSITIF**1. Extension du dispositif pour tester un nouveau traitement sylvicole (éclaircie mixte)**

Trois nouvelles parcelles de 9 ha (6,25 ha mesurés) ont été implantées en août 91 et la troisième campagne d'inventaire a été menée en décembre 93. Les fichiers des données périodiques d'inventaire ont été constitués ainsi que les mesures des données permanentes (coordonnées des arbres, reconnaissance botanique acquises en 1992). Le déroulement des travaux est maintenant en principe le suivant :

- définition du type de sylviculture à appliquer (exploitation puis éclaircie sélective ou mixte, éventuellement éclaircie seule) ;
- réalisation d'une (ou plusieurs) campagne supplémentaire de mesure (1994...) pour avoir le recul permettant de bien caractériser le fonctionnement de ces parcelles ;
- réalisation du traitement sylvicole (1995 ?) ;
- poursuite des mesures annuelles.

Des mesures détaillées concernant la situation sociale et le développement des tiges d'avenir d'Angélique ont été faites. Elles doivent théoriquement être poursuivies en 1994 sur d'autres espèces. Il est important de caractériser au mieux l'état initial de la forêt avant la réalisation d'un traitement ou d'une intervention quelconque. Les autres organismes impliqués dans SILVOLAB ont été consultés pour la définition (modalité et date) de l'intervention sylvicole.

2. Extension du dispositif pour étude de l'écosystème non perturbé

Une parcelle de 25 ha en forêt non perturbée artificiellement a été implantée en 1992 et remesurée en 1993. Elle permet la réalisation d'études concernant le fonctionnement global de l'écosystème forestier et apporte des éléments d'information pour définir des types d'aménagement basés, par exemple, sur une protection intégrale ou sur une utilisation de produits autres que le bois d'oeuvre (extractivisme). Les études engagées sur cette parcelle concernent les répartitions spatiales des espèces, l'étude des différentes populations grâce à des marqueurs génétiques (CIRAD-Forêt et l'INRA), la dynamique des humus (ENGREF) et les mycorhizes (INRA).

3. Arbocel

Le programme a pris en charge en 1993 la parcelle Arbocel (suivi d'une parcelle de 6 ha ayant subi une coupe rase en 1976). Un inventaire complet a été réalisé en 1994.

C. FINANCEMENTS

L'opération de recherche "Forêt Naturelle" est financée essentiellement sur le BCRD. La parcelle de 25 ha est financée par un contrat avec la CEE (43 000 ECU, contrat achevé en 1993). Le budget prévu par la Région a été accordé à hauteur de 580 000 F. Chaque chercheur dispose en outre d'un budget de thèse propre (30 000 F par an). Le budget des activités d'étude de la diversité génétique est de l'ordre de 60 000 F pour la partie CIRAD-Forêt.

ETUDES :

- étude des peuplements forestiers par télédétection aérienne en liaison avec l'ENGREF et la DAF :
 - . Télédétection micro-ondes,
 - . Télédétection à haute résolution,
 - . Système d'Information Géographique.
- mise en place d'un dispositif de suivi des peuplements en forêt pilote en liaison avec l'Office National des Forêts ;
- projet "d'aménagement soutenu de la forêt tropicale humide (Manejo sustentado da floresta tropical umida)" en liaison avec l'INPA Manaus (Brésil) "Projet ZF2".

A. TELEDETECTION (PARACOU : CIRAD-FORÊT/ENGREF)

1. Télédétection micro-ondes

Les données acquises en 1992 sont en cours de traitement à l'ENGREF.

2. Télédétection à haute résolution

Le programme PUSH-BROOM est en attente

3. SIG

La base de données de Paracou a été mise sur SIG en liaison avec l'ENGREF de Kourou.

B. RECHERCHE APPLIQUEE AVEC L'ONF

Dans le cadre de sa nouvelle politique de gestion des forêts domaniales, l'Office National des Forêts met en place des aménagements pilotes dans quelques massifs proches de Cayenne, St Laurent et Kourou. L'Office a reçu pour cela un appui financier important de la CEE (sur financement STRIDE). Une coopération entre l'ONF et le CIRAD-Forêt a été initiée pour mettre en place une recherche d'accompagnement au sein de ces massifs. L'objectif est de suivre l'évolution des peuplements après l'intervention sylvicole "type ONF" (exploitation bois d'oeuvre et éclaircie sélective). Après l'inventaire de la forêt par l'ONF, il était prévu en 1993 la mise en place de placeaux permanents de suivi de la croissance des peuplements dans la forêt pilote d'Organabo (150 ha) où sera appliquée une sylviculture à grande échelle. L'inventaire de la forêt par l'ONF a été achevé fin 1992 ; le CIRAD-Forêt a proposé une méthodologie de recherche. La mise en place sur le terrain est en cours par l'ONF.

C. PROJET ZF2

La coopération avec l'INPA Manaus au Brésil se poursuit depuis le centre CIRAD de Kourou. Elle est basée sur l'accord cadre "CNPQ/CIRAD, INPA/CIRAD-Forêt coordonné par J. DA CRUZ ALENCAR et V. FAVRICHON (après le départ de A. COIC). Le CIRAD-Forêt participe au suivi méthodologique du projet avec l'INPA (l'inventaire annuel des placettes et le dépouillement des données, travaux se déroulant en avril ou mai, étant assurés par l'INPA). Le financement était assuré jusqu'en 1993 par le CNPQ. Trois missions ont eu lieu à Manaus pour maintenir les relations avec l'INPA, suivre le bon déroulement du projet et rédiger une demande de financement complémentaire adressée en janvier 1993 à la CEE (montant 43 000 ECU). Ce financement a été obtenu et est mis en oeuvre en 1994 (mission d'appui en biométrie, accueil d'un stagiaire pendant deux mois à Nogent-sur-Marne, achat de matériel...). Une mission d'appui aura lieu en 1995 et un ouvrage faisant le bilan des actions CIRAD-INPA à la SF2 est prévu en 1995.

- "Réalisation d'un système expert de reconnaissance des arbres sur pieds" Guy ANGEL (thèse Université de Montpellier II Prof. HALLE Cellule Intelligence Artificielle et Botanique ; débutée en octobre 91). Séjour de 8 mois en Guyane en 1993 et 1994.
- "Bases génétiques pour une gestion durable de la forêt tropicale guyanaise". Agnès DOLIGEZ Université Paris XI. Professeur A. SARR (début novembre 92). Unité de Recherche CIRAD-Forêt DivAg.

STAGES ENCADRES

- "Utilisation de photos aériennes (ULM) pour caractériser le développement des arbres" Cécile GAILLARD, Dominique COLONNA ;
- "Vigour and quality : criteria for evaluating Angelique (*Dicorynia guianensis*) in a silvicultural system" B. Van GEMERDEN et T. GEUZE ;
- Réalisation d'une banque de données sur les fichiers de Paracou à l'aide de Paradox, Nadia HAUMONT ;
- Modélisation multi-agents par Dario CARUSO ;
- Etude de la parcelle ARBOCEL, par Angélica TONIOLO.

Participation à la formation des ingénieurs élèves de la FIF en octobre 1994 (cours et visite de terrain).

Par ailleurs, de très nombreuses visites accompagnées sur Paracou et des équipes de recherche d'horizons divers interviennent directement sur le terrain. Compte tenu du développement de cette fonction, les modalités pratiques d'accueil des chercheurs à Paracou ont été définies en 1992 (participation aux frais d'entretien du dispositif et des carbets d'accueil) et sont toujours en vigueur. Une charte d'utilisation a également été élaborée et soumise au Conseil de Groupement de Silvolab.

SYLVIE GOURLET-FLEURY

CURRICULUM VITAE

NOM : GOURLET-FLEURY

Prénom : Sylvie

Date de naissance : 12/05/62

Nationalité : Française

FORMATION

Diplôme d'Ingénieur agronome (INA-PG, 1984)

Diplôme d'Ingénieur du Génie Rural, des Eaux et Forêts (ENGREF, 1986)

DEA : "Analyse et Modélisation des Systèmes Biologiques" (IASBSE, Université Claude Bernard LYON I, 1992)

Thèse de 3ème cycle en cours : "Modélisation de la dynamique des peuplements forestiers en zone tropicale humide" (Université Claude Bernard LYON I/ENGREF)

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE

1987-1988.

Adjointe au Directeur de la Formation Forestière Supérieure pour les Régions Chaudes (FFSRC) à l'ENGREF de Montpellier. Domaines d'intervention : aménagement forestier, télédétection, cartographie forestière

1988-1989

Détachement en tant qu'Ingénieur au BDPA-SCET-AGRI (bureau d'études, filiale de la Caisse des Dépôts et Consignations), au service "Gestion des Ressources Naturelles. Domaines d'intervention : télédétection, photo-interprétation, cartographie forestière (tempérée, tropicale), tracés routiers, statistiques agricoles.

Depuis 1989.

Détachement en tant qu'ingénieur de recherche au CIRAD-Forêt (centre de Kourou - Guyane française) au sein du Programme Aménagement Forestier. Domaines d'intervention : sylviculture et aménagement forestier (gestion d'un dispositif forestier expérimental de 160 ha, participation à la rédaction de plans d'aménagement par l'ONF), analyse de données expérimentales, informatique, modélisation.

ARTICLES ET RAPPORTS (depuis 1989)

GIROU D. et GOURLET S. (1990). Télédétection spatiale, SIG et forêts de Guyane Française : enjeux, réalisations et perspectives - Atelier de Cayenne sur l'Aménagement et la Conservation de l'Ecosystème Forestier Tropical Humide.

GOURLET-FLEURY S. (1990). Aménagement de la base de données "Forêt Naturelle" de Paracou. Note interne, C.T.F.T., 10 p.

GOURLET-FLEURY S. (1991). Simulation par l'ONF et le CTFT d'une éclaircie sélective sur une parcelle exploitée (parcelle 7) du dispositif de Paracou. Résultats et commentaires. Note à l'attention de la Direction Régionale de l'ONF-Guyane, C.T.F.T., 11 p.

GOURLET-FLEURY S. (1991). Essai de prises de vues aériennes à basse altitude depuis un ULM. Compte-rendu et perspectives. Note interne, C.T.F.T., 9 p. + ann.

GOURLET-FLEURY S. (1992). Indices de compétition : les possibilités d'application à la gestion en forêt dense tropicale humide. Mémoire bibliographique - DEA d'Analyse et de Modélisation des Systèmes Biologiques - I.A.S.B.S.E. - Université Claude Bernard, Lyon 1 -30 p. + ann.

GOURLET-FLEURY S. et MONTPIED P. (1993, à paraître en 1994 dans la Lettre du Programme Environnement). Dynamique des peuplements denses forestiers en zone tropicale humide : ébauche d'un modèle d'arbre à Paracou (Guyane Française). Atelier "Modélisation de la dynamique de la forêt tropicale - Echelles, usages, biodiversités". Kourou, 19-23 juillet 1993.

HAMMOND D.S., TER STEEGE II, VAN DER HOUT P., GOURLET-FLEURY S. et BROWN V.K. (à soumettre en 1994) : A compilation of known Guianan timber trees and the significance of their dispersal mode, seed size and taxonomic affinity to tropical rain forest management.

EN PREPARATION (à soumettre en 1995) :

GOURLET-FLEURY S. Indices de compétition et modèles de croissance en forêt tropicale humide.

GOURLET-FLEURY S. et CARUSO D. SELVA : Système Multi-Agents et Programmation Orientée Objet au service de la simulation de la dynamique forestière en Guyane Française.

BUDGET DE FONCTIONNEMENT

IMPLICATIONS BUDGÉTAIRES (ESTIMATION BASE 1994)

| | |
|---|-------------|
| . Déplacements Kourou/Paracou | 10 000 FF |
| . Ouvrier forestier (1 mois, toutes charges comprises) | 11 000 FF |
| . Stagiaire (3 mois, toutes charges comprises) | 20 000 FF |
| . Mission en métropole (1AR Cayenne/Paris) | 6 000 FF |
| . Achats de matériel (informatique, petit équipement Paracou) | 20 000 FF |
| | <hr/> |
| TOTAL | 67 000 FF |
| Budget personnel alloué pour la thèse | 20 000 FF |
| SOLDE | - 47 000 FF |

Cette estimation ne tient pas compte de la location du bureau occupé à l'INRA, des dépenses téléphoniques, ni des consommations annuelles de fluides.

Le solde est imputé sur différents budgets : budget BCRD du Programme Forêt Naturelle et conventions locales.

ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DU CHERCHEUR

ACTIVITES MENEES DANS LE CADRE DU PROGRAMME FORET NATURELLE GUYANE ENTRE 1989 ET 1994

1989-1990 : prise de contact avec le dispositif de PARACOU, connaissance des travaux déjà effectués, premières analyses de données,; préparation de l'"Atelier sur l'Aménagement et la Conservation de l'Ecosystème Forestier Tropical Humide" qui s'est tenu à Cayenne du 12 au 16 mars 1990.

Participation à l'atelier "Forest 90" (7 au 13 octobre 1990) à Manaus.

Proposition d'enrichissement de la banque de données existant sur Paracou à partir de données qualitatives, et rédaction de programmes permettant d'apurer et de traiter ces données. Ce projet n'a pas eu de suite, faute de temps et de main-d'oeuvre disponible.

1991 : réflexion commune avec l'ONF sur la définition de traitements sylvicoles "adaptés" et la possibilité de les tester et de les suivre dans les deux forêts expérimentales de Risquetout et d'Organabo. Cette réflexion s'est accompagnée d'une expérience en vraie grandeur menée à Paracou avec toutes les équipes de l'ONF. A l'heure actuelle, différents traitements ont effectivement été testés, mais la mise en place de placettes de suivi a pris du retard.

Mise en place de 3 parcelles de 9 ha supplémentaires à Paracou (financement : budget de la Région). Ces parcelles sont, depuis, suivies en inventaire de manière annuelle. Pour l'instant, aucun consensus ne s'est dégagé entre les différents organismes travaillant sur le dispositif, concernant le type d'intervention à réaliser dans ces parcelles.

Réalisation de prises de vues aériennes depuis un ULM, sur la parcelle 7. Cette opération a permis de mettre en évidence le parti qu'il serait possible de tirer de telles prises de vues répétées à intervalle régulier, notamment en ce qui concerne le suivi de la dynamique des houppiers et le suivi de la phénologie.

Une demande de financement pour la réalisation d'une opération de plus grande envergure, mettant en oeuvre des moyens moins "artisansaux" (plate-forme photo notamment) a été adressée au Programme "Environnement, Société et Développement à long terme" lors de son appel à propositions de recherche 1991-1993. Sans suite. En 1993, deux étudiants se sont penché sur l'analyse de ces photos, et les résultats ont été incorporés au SIG de Paracou.

1992. Suivi, à l'Université de Lyon, du DEA "Analyse et Modélisation des Systèmes Biologiques".

Mission de 10 jours au Guyana : prise de contact avec les chercheurs et gestionnaires forestiers impliqués dans la recherche-développement dans ce pays.

1993. Première année de thèse, portant sur la modélisation mathématique et informatique de la dynamique forestière à Paracou. Collaboration avec Pierre MONTPIED (INRA) pour l'étude de la régénération.

Participation à la "Rencontre sur la Sylviculture en Forêt Naturelle", qui s'est tenue à Kourou du 2 au 5 mars 1993 (à laquelle assistaient différentes personnes venues du Brésil, du Guyana, du Surinam et du Vénézuéla) et rédaction de la première version française du "Projet d'Aménagements Forestiers Avancés dans la Région Amazonie Guyanes". Participation également à l'atelier "Modélisation de la dynamique de la forêt tropicale - Echelles, usages, biodiversités" organisée par Alain PAVE (responsable du Programme Environnement du CNRS) qui s'est tenue à Kourou, du 19 au 23 juillet 1993.

Mission au Brésil pour présenter, avec Olivier LAROUSSINIE, le volet français du projet évoqué ci-dessus.

1994. Deuxième année de thèse. Mission au Guyana, pour assister à la présentation des résultats obtenus par l'équipe TROPENBOS-Guyana au cours de la période 1989-1994. Rencontre de divers responsables de projets de terrain, et identification d'une équipe pouvant rejoindre Brésil, Guyane française et Vénézuéla au sein du projet d'aménagement Amazonie-Guyanes (voir ci-dessus). Etablissement d'une collaboration plus poussée avec l'équipe de TROPENBOS, portant notamment sur la mise en place d'essais sylvicoles sur parcelles expérimentales et sur la rédaction d'articles (le premier doit être soumis à publication dans les semaines qui viennent).

Etablissement d'une coopération avec le LAFORIA (Laboratoire des Formes et d'Intelligence Artificielle - Université de Paris VI) pour la programmation, en Smalltalk 80, de SELVA, simulateur "interactif" de la dynamique forestière à Paracou. SELVA est en cours d'amélioration, avec l'aide du LAFORIA (partie informatique) et de l'INRA (dynamique de la régénération des arbres).

Suivi, sur le dispositif, de la floraison des Angéliques en collaboration avec l'équipe de Henri CARON (INRA). Un programme de suivi "lourd" de la régénération de l'Angélique est en cours de mise en place avec Judy de MERONA (INRA).

ARTICLES ET RAPPORTS

GIROU D. et GOURLET-FLEURY S. (1990). Télédétection spatiale, SIG et forêts de Guyane française : enjeux, réalisations et perspectives - Atelier de Cayenne sur l'Aménagement et la Conservation de l'Ecosystème Forestier Tropical Humide.

GOURLET-FLEURY S. (1990). Aménagement de la base de données "Forêt Naturelle" de Paracou. Note interne, C.T.F.T., 10 p.

GOURLET-FLEURY S. (1991). Simulation par l'ONF et le CTFT d'une éclaircie sélective sur une parcelle exploitée (parcelle 7) du dispositif de Paracou. Résultats et commentaires. Note à l'attention de la Direction Régionale de l'ONF-Guyane, C.T.F.T., 11 p.

GOURLET-FLEURY S. (1991). Extension du dispositif de Paracou : rapport technique des travaux exécutés en 1991. Note à l'attention du Conseil Régional de Guyane.

GOURLET-FLEURY S. (1991). Essai de prises de vues aériennes à basse altitude depuis un ULM. Compte-rendu et perspectives. Note interne, C.T.F.T., 9 p. + ann.

GOURLET-FLEURY S. (1992). Indices de compétition : les possibilités d'application à la gestion en forêt dense tropicale humide. Mémoire bibliographique - DEA d'Analyse et de Modélisation des Systèmes Biologiques - I.A.S.B.S.E. - Université Claude Bernard, Lyon I, 30 p. + ann.

GOURLET-FLEURY S. et MONTPIED P. (1992). Compte-rendu de mission Guyana/Surinam. Note interne, CIRAD-Forêt - INRA, 16 p. + ann.

GOURLET-FLEURY S. et MONTPIED P. (1993, à paraître en 1994 dans la lettre du Programme Environnement). Dynamique des peuplements denses forestiers en zone tropicale humide : ébauche d'un modèle d'arbre à Paracou (Guyane française). Atelier "Modélisation de la dynamique de la forêt tropicale - Echelles, usages, biodiversités" - Kourou, 19-23 juillet 1993.

HAMMOND D.S., TER STEEGE II, VAN DER HOUT P., GOURLET-FLEURY S. et BROWN V.K. (à soumettre en 1994) : A compilation of known Guianan rimber trees and the significance of their dispersal mode, seed size and taxonomic affinity to tropical rain forest management.

EN PREPARATION (à soumettre en 1995) :

GOURLET-FLEURY S. Indices de compétition et modèles de croissance en forêt tropicale humide.

GOURLET-FLEURY S. et CARUSO D. SELVA : Système Multi-Agents et Programmation Orientée Objet au service de la simulation de la dynamique forestière en Guyane française.

ACTIVITES MENEES DANS LE CADRE DE LA THESE :

DYNAMIQUE DES PEUPLEMENTS DENSES FORESTIERS EN ZONE TROPICALE HUMIDE

Ebauche d'un modèle d'arbre à PARACOU

1. CONTEXTE

La stabilisation géographique de l'exploitation forestière en Guyane française passe par la mise en oeuvre d'éclaircies capables de stimuler la croissance des arbres de valeur demeurant en place dans le peuplement une fois que la récolte des plus gros individus a eu lieu. Ce type d'intervention, très bien maîtrisé en zone tempérée, pose de nombreux problèmes en forêt dense tropicale humide, par exemple :

- quelles règles simple de sylviculture adopter dans des peuplements aussi complexes ?
- comment procéder aux éclaircies (abattage, annélation, empoisonnement des arbres que l'on souhaite éliminer au profit des autres) ?
- quels seront les effets des interventions :
 - . sur la dynamique des peuplements traités ;
 - . sur la composition floristique de ces peuplements ;
 - . sur les populations animales qu'ils abritent et dont ils dépendent ;
 - . sur la qualité technologique des futurs arbres récoltés ?
 - . etc...

L'ensemble de ces questions relève d'une problématique plus générale : mieux comprendre comment fonctionne l'écosystème forestier dense tropical humide. C'est dans ce but que de très nombreux travaux expérimentaux ont été réalisés ou sont en cours en Guyane française (synthèse dans 2 numéros "Spécial Guyane" de Bois et Forêts des Tropiques, 1990).

Parallèlement à l'étude expérimentale, nécessitant d'importants moyens humains et financiers ainsi qu'un certain recul dans le temps, la modélisation, qui permet de s'affranchir en partie de ces contraintes, nous paraît pouvoir présenter un grand intérêt à la fois en matière de "démontage" de mécanismes complexes en vue d'une meilleure compréhension de ces mécanismes, mais aussi en matière de prévision des effets que peuvent entraîner certaines perturbations sur le fonctionnement de l'écosystème. C'est le pari que nous faisons, en nous intéressant plus particulièrement dans un premier temps à la dynamique des peuplements forestiers.

2. QUEL TYPE DE MODELE ?

De différents articles portant sur l'utilisation des modèles de dynamique forestière, il ressort que :

- les modèles d'arbre sont capables de prendre en compte des traitements sylvicoles complexes (contrairement aux modèles de peuplement) et sont les mieux adaptés à leur simulation ;

- les modèles d'arbre indépendants des distances sont simples, et ont un large spectre d'application (peuplements plurispécifiques et/ou inéquiennes. Ils connaissent un grand succès aux USA où les modèles "STEMS" et "PROGNOSIS" par exemple, sont très utilisés par l'USDA Forest Service pour la comparaison de différentes alternatives sylvicoles), mais "ils ne peuvent pas bien rendre compte de la réaction des arbres à des situations exceptionnelles : dans le cas d'une répartition très irrégulière des arbres dans l'espace, les modèles d'arbres dépendants des distances s'avèrent plus pertinents" (HOULLIER et al)¹ ;
- les modèles empiriques, incluant un indice de compétition (voir plus bas), prédisent mieux la croissance, que ce soit en diamètre ou en hauteur, que des modèles semi-empiriques ou fonctionnels ;
- les modèles fonctionnels sont cependant plus aptes à être utilisés dans des peuplements quelconques, une fois mis au point, et il est souhaitable pour cette raison d'introduire une certaine base physiologique dans les modèles empiriques ;

En forêt tropicale, la plupart des chercheurs ont opté pour la construction de modèles de peuplement ou d'arbre indépendants de la distance :

- parce que la forêt dense humide tropicale constitue un système trop complexe ;
- parce que des modèles plus précis nécessitent la collecte sur le terrain d'un très grand nombre de données ;
- parce que la mise en oeuvre nécessite d'importants moyens informatiques.

Cependant, l'approche "modèle d'arbre dépendant de la distance" nous paraît prometteuse et c'est elle que nous avons choisi de développer, notamment :

- 1) parce que le dispositif de Paracou met à notre disposition des données spatialisées que nous voulons exploiter : cela permettra par exemple de rendre compte des problèmes de répartition spatiale, fondamentaux en forêt tropicale, et de leur évolution sous l'effet de perturbations ;

¹ HOULLIER F., BOUCHON J. & BIROT Y. (1991). Modélisation de la dynamique des peuplements forestiers ; état des perspectives. Revue Forestière Française, 53, 87-105

- 2) parce que certaines règles d'intervention sylvicoles ne peuvent être simulées autrement : c'est notamment le cas des éclaircies "mixtes" (rayon d'intervention donné autour d'arbres choisis) actuellement pratiquées par l'ONF dans ses forêts expérimentales, et appelées à être appliquées dans les massifs aménagés ;
- 3) parce que cette approche permet une description plus fine des dégâts occasionnés à leurs voisins par la chute des arbres ;

Le modèle construit est par ailleurs de type empirique (parce que les données disponibles sur le dispositif sont essentiellement de nature dendrométrique) et semi-stochastique.

Un modèle d'arbre, dépendant des distances empirique et semi-stochastique nous a servi de premier guide. Il s'agit de FOREST, développé au début des années 1970 à l'Université de Wisconsin-Madison par A.R. EK et R.A. MONSERUD (1974)² pour des peuplements forestiers tempérés mélangés, équiennes ou inéquiennes du Nord-Est des USA.

3. LES ELEMENTS A RASSEMBLER

Pour construire le type de modèle qui nous intéresse, il faut donc pouvoir décrire correctement :

- la croissance,
- la mortalité,
- la régénération au sens large (i.e. : production, dissémination, germination des graines et dynamique des juvéniles),

en théorie pour chaque espèce présente dans le peuplement; A cet égard, nous avons décidé d'adopter la stratégie suivante :

- dans un premier temps, l'information espèce est occultée et nous considérons que la forêt est constituée d'une espèce "grise". L'idée est de mettre d'abord au point un modèle global de dynamique qui fonctionne "correctement", c'est-à-dire capable de reproduire un fonctionnement global (en situation perturbée ou non) logique du point de vue du maintien ou de la reconstitution des effectifs et de la structure d'un peuplement tel que celui que nous étudions à PARACOU ;
- dans un deuxième temps et si la première étape a fonctionné, il s'agit de différencier une espèce au sein de l'ensemble des autres : l'Angélique, (*Dicorynia guianensis*, Caesalpiniaceae, première espèce exploitée en Guyane), intéressante à divers titres :
 - . de nombreuses études en font une espèce bien connue sur le plan du comportement,
 - . cette espèce est anémochore, le modèle de dispersion des graines est simple,
 - . elle possède une répartition spatiale agrégative, dont il est particulièrement intéressant de comprendre le déterminisme.

Par la suite, et notamment lorsque seront mis au point des groupes fonctionnels efficaces (travail faisant l'objet d'autres thèses), le modèle pourra être progressivement enrichi.

² E.K.A.R. & MONSERUD R.A. (1974). Trials with program FOREST ; growth and reproduction simulation for mixed species even -or uneven-aged forest stands, in ; FRIES J. - Growth Models and Forest Stand Simulation - Royal College of Forestry - STOCKHOLM - Res. Notes 30, 56-73.

4. CONSTRUCTION DES SOUS-MODELES

1 - Croissance

La seule croissance qui est possible d'étudier avec les données dont nous disposons est la croissance en diamètre ΔD (les mesures de hauteur sont difficiles à réaliser en forêt tropicale, et le coût de leur collecte est prohibitif). Nous avons utilisé, pour ajuster un modèle, les données de 8 des 12 parcelles de PARACOU (2 par traitement sylvicole, prises au hasard), les 4 dernières étant réservées pour les validations.

Le modèle ajusté est du type :

$$\Delta D = \text{POTENTIEL} * \text{REDUCTEUR} * E,$$

avec :

POTENTIEL = croissance potentielle maximale d'un arbre, exprimée à l'aide d'un modèle de type sigmoïde (Lundqvist-Matern);

REDUCTEUR = fonction prenant en compte, à travers des indices de compétition, les contraintes imposées à la croissance par l'environnement proche de l'arbre ;

E = composante aléatoire.

2 - Mortalité

Deux types de mortalité doivent être décrits en forêt tropicale :

- la mortalité par sénescence, ou due à l'impossibilité de mobiliser suffisamment de ressources dans une situation de trop forte compétition ; c'est la mortalité sur pied (dite encore "naturelle");
- la mortalité par chablis, ou mortalité "accidentelle". Si elle peut être négligée dans les plantations forestières, elle joue un rôle fondamental en forêt naturelle et doit absolument être prise en compte.

Les deux sous-modèles correspondants décrivent une probabilité de survie, de la forme :

$$P = (1 + e^{-X'b})^{-1}$$

avec X = vecteur contenant certaines caractéristiques de l'arbre ou de son environnement (croissance passée, indices de compétition) et b = vecteur des paramètres. Cette probabilité de survie, comparée à la valeur prise par une variable aléatoire suivant une loi de probabilité uniforme, permet de décider du statut (mort/vivant) de l'arbre.

Si la mortalité sur pied est pour l'instant décrite de façon satisfaisante, ce n'est pas le cas de la mortalité par chablis, dont l'implémentation est en cours d'amélioration.

3 - Régénération

Dans un premier temps, seul un sous-modèle décrivant la probabilité d'apparition d'un arbre de plus de 10 cm de diamètre a été implémenté. Une description plus précise de la phase de régénération est en cours, en collaboration avec l'équipe de l'INRA (Judy de Merona et Pierre Montpied).

5. IMPLEMENTATION DU MODELE GLOBAL DE DYNAMIQUE FORESTIERE

Cette partie du travail a été réalisée en collaboration avec le LAFORIA (Laboratoire des Formes et d'Intelligence Artificielle) de l'Université PARIS VI. Le modèle, qui a été baptisé SELVA, est écrit en SmallTalk 80 et possède les caractéristiques d'un Système Multi-Agents. Il permet de réaliser des interventions sylvicoles de manière très souple et de suivre l'évolution du peuplement sur une parcelle de 6,25 ha (parcelle de Paracou) à l'aide d'un ensemble de fenêtres graphiques affichant les principales caractéristiques de ce peuplement.

VINCENT FAVRICHON

| |
|-------------------------|
| CURRICULUM VITAE |
|-------------------------|

Société : CIRAD-Forêt
Nom de l'expert : Vincent FAVRICHON
Nationalité : Française
Date et lieu de naissance : 24 octobre 1961 à Lyon
Etat civil : Marié
Ancienneté professionnelle : 9 ans

EXPERIENCE PROFESSIONNELLE :

Depuis octobre 1991 : GUYANE FRANCAISE

CIRAD-Forêt. Ingénieur de recherche, responsable du programme de recherche en Aménagement Forestier (dispositif forêt naturelle de Paracou).

Juillet 1990 - Septembre 1991 : FRANCE

CIRAD-Forêt. Ingénieur de recherche au Programme Aménagement Forestier et Sylviculture, chargé du dispositif de recherche forêt naturelle de République Centrafricaine.

Juin 1988 - Juin 1990 : REPUBLIQUE DE GUINEE

CIRAD-Forêt. Adjoint au Chef de projet d'"Aménagement intégré des bassins versants représentatifs pilotes de Mamou" (FAC).

Août 1987 - Mai 1988 : FRANCE

Ministère de la Coopération et du Développement. Mis à disposition auprès du Chef du bureau "Forêts et Environnement", chargé du suivi des projets au Burundi, Rwanda et Guinée.

Avril 1986 - Juillet 1987 : REPUBLIQUE DU TOGO

CIRAD-Forêt. VSN Responsable de la cellule du suivi sylvicole (Eucalyptus, Acacias) au projet d'"Aménagement forestier et reboisement industriel" (FAC-CCCE).

Janvier - Mars 1986 : FRANCE

Ministère de la Coopération et du Développement. Membre de la cellule d'organisation de la Conférence Internationale sur l'arbre et la forêt (SILVA).

AUTRES SEJOURS ET MISSIONS A L'ETRANGER :

1992-1994 : Suriname, Brésil, Allemagne
 1991 : Centrafrique, Malaisie, Zaïre
 1987-1988 : Sénégal, Burundi, Guinée, Rwanda
 1985 : Philippines, Mali

PUBLICATIONS :

FAVRICHON V., 1994. Classification des espèces arborées en groupes fonctionnels en vue de la réalisation d'un modèle de peuplement en forêt guyanaise, soumis à la revue d'écologie Terre et Vie.

FAVRICHON V., COIC A., 1992. Silvicultural research in the Amazonian Forest, the case of the CIRAD-Forêt research station in Paracou-French Guiana. Contribution volontaire à la conférence Forest 92, Rio de Janeiro, 18 p.

MAITRE H.F., LAURENT D., COIC A., FARGEOT C., FAVRICHON V., 1992. Aménagement et conservation des forêts denses en Amérique tropicale. Etude FAO Forêts n° 101, 146 p.

FAVRICHON V., 1991. Sur quelques relations entre la croissance des arbres et la structure du peuplement en forêt semi-décidue (République Centrafricaine). DEA Université Paris VI, 60 p.

TRAN-HOANG A., FAVRICHON V., MAITRE H.F., 1991 Dispositifs d'étude de l'évolution de la forêt dense centrafricaine suivant différentes modalités d'intervention sylvicole. Présentation des principaux résultats après huit années d'expérimentation. Rapport interne CIRAD-Forêt, 52 p.

FAVRICHON V., 1991. Réflexions pour une meilleure gestion de la forêt tropicale humide en Afrique. Contribution volontaire à la conférence UNESCO de la N'sele (Zaïre), 10 p.

FAVRICHON V., 1991. La forêt tropicale africaine : patrimoine à préserver d'urgence. Le Flamboyant n° 17, pp. 16-18.

FAVRICHON V., 1991. Aménagement intégré de bassin versant : Réflexions à partir du cas des bassins représentatifs pilotes de Bafing et Balé (Fouta-Djalon - République de Guinée). Bois et Forêts des Tropiques 228 : 25-40.

FAVRICHON V., 1991. La forêt villageoise, un outil d'aménagement du territoire. Arbres, Forêts et Communautés Rurales, 1 : 30-32.

FAVRICHON V., 1991. Essais agroforestiers en milieu paysan. Etude de cas au projet d'aménagement des BRP de Mamou (Rép. de Guinée). Journées agroforesterie CIRAD-Forêt, Montpellier, 6 p.

FAVRICHON V., 1991. Prise en compte des problèmes d'environnement dans les projets de développement rural. Etude de cas au projet d'aménagement des BRP de Mamou (Rép. de Guinée). Journées agroforesterie CIRAD-Forêt, Montpellier, 4 p.

FAVRICHON V., 1987. Plantations industrielles d'eucalyptus au Togo. Résultats des études menées au projet AFRI. Rapport interne CIRAD-Forêt. 163 p.

ETUDES :

- 1991 : DEA "Ecosystèmes forestiers tropicaux" Université Paris VI
- 1983-1985 : Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts
- (ENGREF) : Diplôme d'Ingénieur du Corps du GREF
- 1981-1983 : Institut National Agronomique Paris-Grignon (INA-PG) Diplôme d'Ingénieur Agronome

CONNAISSANCES DES LANGUES :

Français (langue maternelle)

Anglais

Allemand

Russe (notions)

BUDGET DE FONCTIONNEMENT

DESCRIPTION DES ACTIVITES SCIENTIFIQUES (Novembre 1994)

Le travail engagé a pour objectif de modéliser la dynamique d'un peuplement forestier tropical humide. Le modèle choisi est un modèle à compartiments à temps discret. Cette modélisation doit fournir aux gestionnaires forestiers un outil permettant d'appréhender de façon simple la dynamique d'un peuplement et rendre possible la visualisation de l'impact de traitements sylvicoles systématiques. Il s'articule en trois phases :

- analyse de la dynamique du peuplement et recherche d'indicateurs simples de croissance ;
- étude botanique et simplification de la diversité floristique par l'établissement de groupes fonctionnels d'espèces ;
- établissement du modèle, validation et simulation de sylvicultures variées.

Il s'inscrit dans le cadre d'une thèse de doctorat qui s'achèvera mi-1995 (Université Lyon 1 sous la direction de J.P. PASCAL). Outre l'Université de Lyon et le CIRAD-Forêt (biométrie), les collaborations se sont développées avec l'ORSTOM (pour la botanique) et l'ENGREF (pour la modélisation). Les résultats devraient être directement applicables par le service gestionnaire des forêts en Guyane (ONF).

Le budget propre à cette thèse est de 30 000 F en 1994 (somme qui sera épuisée). 10 à 15 000 F seront nécessaires en 1995.

Ces études viennent en complément des autres activités menées dans le cadre du programme "Forêt naturelle". La principale activité (période 1991-1993 surtout) est la gestion du dispositif de Paracou et en particulier le suivi annuel par inventaire en plein de la dynamique des peuplements soumis ou non à une intervention sylvicole.

Dans ce cadre quelques stagiaires ont été encadrés de façon formelle ou non (GEMERDEN et GEUZE en 1992, TONIOLO (pour partie) en 1993...).

Les relations avec l'extérieur sont concentrées sur le Brésil avec la participation régulière aux travaux de l'équipe de l'INPA-Manaus sur le dispositif de la ZF2 dont les objectifs sont semblables à ceux de Paracou. Des contacts ont également été renoués avec le Suriname en 1992.

ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DU CHERCHEUR

SIMULATION DE LA DYNAMIQUE D'UN PEUPLEMENT FORESTIER TROPICAL HUMIDE D'AMAZONIE GUYANAISE

Démarche méthodologique pour l'établissement d'un modèle de peuplement à temps discret

OBJECTIF

Ce travail de recherche a pour objectif de modéliser la dynamique d'un peuplement forestier tropical humide (donc plurispécifique et inéquienne et à âge des arbres inconnu). Cette modélisation doit permettre de décrire l'évolution (à court et à moyen terme) d'un peuplement non perturbé artificiellement (en termes de répartition des arbres par catégories de diamètre et de composition floristique) et de simuler l'effet de perturbations extérieures telles que des interventions sylvicoles. Cette modélisation est réalisée à l'échelle de l'hectare à l'aide d'un modèle à compartiments en temps discret. Dans ce type de modèle, la population est représentée par le vecteur des effectifs (ici les arbres de diamètre ≥ 10 cm) par classes de diamètre et son évolution est décrite par les paramètres de croissance, recrutement et mortalité des tiges au sein de chaque classe.

On présentera ici la démarche méthodologique qui s'articule en trois étapes :

- description du matériel disponible (données disponibles ou acquises) et analyse de la dynamique en forêt naturelle non perturbée. L'analyse exploratoire des données permet d'étudier en particulier quelques facteurs ayant une influence sur la croissance individuelle des arbres,
- recherche d'une simplification dans la diversité spécifique par l'établissement de groupes fonctionnels d'espèces. Cette approche permet de prendre en compte dans le modèle de façon simplifiée la diversité spécifique,
- établissement du modèle de dynamique et validation.

On donnera également quelques résultats préliminaires obtenus à ce jour.

DESCRIPTION DE LA CROISSANCE EN FORET PRIMAIRE

1. Matériel et méthode

L'estimation des paramètres du modèle est basée sur les mesures effectuées sur le site de recherche de Paracou ($5^{\circ}15'N$, $52^{\circ}55'O$) en Guyane française et en particulier sur les trois parcelles témoins (parcelles 1, 6 et 11 soit une superficie totale de 18,75 ha). Chaque parcelle est divisée en 4 carrés de 1,56 ha qui servent de superficie de référence pour la modélisation. On dispose, pour tous les arbres de plus de 10 cm de diamètre, de la détermination botanique au niveau de l'espèce (ou du genre), de la position en coordonnées cartésiennes et des mesures de circonférence annuelles de 1984 à 1992 (mesurée à 1,30 m avec une précision de 0,5 cm). La dynamique globale dans les parcelles est décrite dans un premier temps pour mettre en évidence les fluctuations locales et temporelles. On étudie ensuite plus en détail les relations entre la croissance des arbres et des paramètres de l'environnement (sol, climat ...), des paramètres liés au peuplement (densité des parcelles ...) et des paramètres liés à l'individu (appartenance à une espèce ...). Rappelons que la variabilité inter-individuelle est liée aux phénomènes de concurrence entre arbres pour les ressources nécessairement limitées du milieu (concurrence aérienne pour la lumière et concurrence racinaire pour les nutriments), mais qu'elle dépend aussi de la localisation géographique, des potentialités génétiques, de l'histoire de l'individu.

L'étude du facteur lumière est privilégiée ici car il est d'un impact a priori important et qui peut être abordé avec les données disponibles.

2. Résultats

On observe, sur huit années de mesure et sur 12 carrés de 1,56 hectare chacun :

- la stabilité dans le temps du peuplement en terme d'effectif (± 1 %/an), de surface terrière et de structure diamétrique (ajustée par une exponentielle décroissante),
- la disparité de situation entre les carrés, liée essentiellement aux situations topographiques et pédologiques.

La valeur moyenne des principaux paramètres de dynamique est donnée ci-dessous. Le recrutement annuel en effectif représente 0,90 % du peuplement sur pieds (variations inter carré et inter annuelle fortes). La mortalité annuelle représente 1 % des tiges vivantes (variations très fortes en particulier pour la mortalité par chablis). L'accroissement présente un gain net de 1 % de la surface terrière initiale et varie peu. La composition floristique sur 2 ans (1990-1992) est stable : 87 % des espèces ont un effectif variant de moins de 1 tige.

A l'échelle de l'arbre, l'accroissement individuel annuel diamétrique est faible (0,12 cm) et très variable ($\sigma=0,145$). La distribution de cet accroissement montre que beaucoup d'arbres ne poussent pas sur 8 ans (13 %) ou très peu (66 % entre 0 et 0,2 cm/an) alors que seulement 5 % d'entre eux ont une croissance forte ($>0,4$ cm/an). Il est donc nécessaire de rechercher des indicateurs de cette croissance. Le diamètre (supposé lié à la hauteur de l'arbre et donc grossièrement à la quantité de lumière reçue) explique 30 % de la variabilité de la croissance individuelle (ce qui confirme les résultats d'autres auteurs tels que Alder (1983) ou Devineau (1991). C'est donc un indicateur très partiel de la croissance individuelle mais c'est le seul paramètre mesuré annuellement et dans tout inventaire forestier. Il est donc retenu comme le principal critère d'établissement des classes d'arbres dans le modèle. Le statut social (mesuré par le code Dawkins) pourrait être un autre bon indicateur de la concurrence pour la lumière (Dawkins, 1957). Il s'avère fortement lié au diamètre et n'explique également qu'une part très faible de la variabilité de la croissance (29 %). On ne le retiendra donc pas dans le modèle d'autant plus qu'on ne dispose pas de répétition de cette mesure. La densité locale enfin, mesurée par le nombre ou la surface terrière totale ou partielle dans un rayon centré autour d'un individu donné, n'est pas très significative ($r^2 = 0,23$ à $0,26$ pour un rayon de 15m et seulement pour les petits diamètres). Il ne se dégage donc pas de critère simple donnant une indication fiable de la croissance individuelle.

Le sol, quant à lui, a un effet sur la croissance surtout par l'intermédiaire de la profondeur de l'horizon humide. Le climat enfin (appréhendé seulement par l'intermédiaire de la pluviométrie totale) ne semble pas directement influencer sur la croissance.

Outre la description du phénomène de croissance, cette première partie permet de déterminer des indicateurs simples qui sont à la fois liés à la croissance des individus et quantifiables dans le cadre de la description d'une perturbation du milieu. Le facteur espèce est pris en compte dans la deuxième partie.

ETABLISSEMENT DE GROUPES FONCTIONNELS D'ESPECES

1. Description floristique des parcelles témoins

Les travaux de terrain entrepris sur les trois parcelles témoins permettent d'estimer la richesse taxonomique à 229 taxons représentant 45 familles. L'importance relative des familles montre que la forêt sur le site de Paracou s'apparente au type forêt humide de plaine sur sol ferralitique à faciès *Caesalpiniaceae* (Lescure, 1981). La représentation du diagramme rang-fréquence en coordonnées log-log montre une distribution typique (pas d'espèce fortement dominante et important contingent d'espèces rares) d'un écosystème mature (Frontier et Pichod-Viale, 1991). Ces espèces très diverses présentent par ailleurs des comportements de dynamique extrêmement variés vis-à-vis des facteurs de l'environnement (et en particulier vis-à-vis de la lumière dans tous leurs stades de développement). Pour inclure, partiellement, cette diversité dans le modèle, il a été envisagé de rassembler ces espèces en un nombre restreint de groupes. Cette démarche n'est pas originale et a déjà fait l'objet de nombreux travaux dans lesquels pourtant il est difficile de faire la part des jugements objectifs (Swaine et Whitmore, 1988). Le regroupement par famille botanique n'a pas beaucoup de sens quand on connaît la diversité de fonctionnement des espèces au sein d'une même famille. De même un regroupement sur la seule valeur économique des espèces n'est pas envisageable quand on veut approcher au mieux le fonctionnement du système (Korsgaard, 1989). Enfin un regroupement sur le seul critère de croissance (Maldahl et al. (1985), Vanclay (1991) aboutit à des regroupements efficaces ponctuellement mais qui ne sont pas toujours applicables quand on s'intéresse ensuite à la mortalité ou au recrutement. Des critères écologiques sont donc également nécessaires (Puig, 1991 com.pers.) pour établir une classification plus générale.

2. Démarche d'établissement des groupes fonctionnels

On s'est attaché ici à classer les espèces suivant leur "tempérament" (ou "stratégie"). Ces termes, souvent mal définis dans la littérature, représentent "l'ensemble des réactions de croissance et de développement d'un arbre par rapport à un environnement et durant tout son cycle de vie" (Oldeman et van Dijk, 1991). La démarche de classement repose sur trois étapes. Dans un premier temps des méthodes de classification (ACP et classification par nuées dynamiques) permettent d'établir des groupes en fonction des valeurs observées de croissance, recrutement et dimension potentielle de chaque espèce au stade adulte à sub-adulte. Dans un deuxième temps, ces groupes sont confrontés à la structure diamétrique des espèces (regroupées par une AFC) ; cette structure étant supposée être un bon indicateur du tempérament spécifique (Gazel, 1983). Enfin, des caractéristiques plus qualitatives sont introduites (modes de dissémination, tempérament de régénération vis-à-vis du facteur lumière) pour confronter les groupes à la réalité biologique des espèces. Cette dernière étape permet également d'agréger aux différents groupes les espèces très peu abondantes en fonction des données bibliographiques disponibles.

3. Résultat

On obtient 5 groupes fonctionnels qualifiés de "sciaphiles de strate inférieure", sciaphiles structurantes", "émergents semi-tolérants", "héliophiles de strate supérieure" et "héliophiles de strate inférieure". L'appartenance d'une espèce à un groupe a un effet très significatif sur la croissance. Ces groupes ont donc une réalité écologique indiscutable et occupent une place particulière dans la dynamique globale du peuplement. Grâce à cette démarche, le critère espèce peut donc être intégré à la modélisation.

MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DU PEUPLEMENT

De nombreux types de modèle existent (Houllier, 1986) que l'on classe en modèles de peuplement (global ou avec distribution des arbres en classes), individuels dépendant ou indépendant des distances, physiologique (process model), de succession (gap-model). On a retenu ici un modèle de peuplement à temps discret avec distribution des arbres par classes de taille, les arbres appartenant à une même classe étant supposés avoir un comportement voisin en forêt. Pour obtenir un modèle plus performant, on retient de plus les deux options fondamentales suivantes : le peuplement est subdivisé en sous-ensembles plus homogènes par rapport aux paramètres de fonctionnement (les espèces sont classées en groupes fonctionnels, suivant leur tempérament vis-à-vis de la lumière), et dans la mesure du possible, les paramètres de dynamique sont considérés comme dépendants de l'état du peuplement et donc du temps.

1. Rappel bibliographique

Les premiers exemples de modèles à compartiments ont été développés par Leslie (1945) comme modèles déterministes à temps discret de l'évolution de populations animales groupées par classes d'âge. Ils ont été repris pour des populations animales groupées par classes de taille par Lefkovitch (1965) et dans le domaine forestier par Usher (1966, 1969). De nombreuses applications ou variantes de ces deux modèles ont ensuite été développées en foresterie (citons par exemple) Adams et Ek (1974), Higuchi (1986), Mendoza et Setyarso (1986), Korsgaard (1989). Ces modèles sont à la fois simples et directement interprétables et ils fournissent des résultats suffisamment précis pour répondre aux principales questions de l'aménagiste forestier. Ils reposent toutefois en général sur deux hypothèses inacceptables en foresterie : le principe de stationnarité (les paramètres sont liés au seul état initial de l'arbre considéré c'est-à-dire à sa classe de diamètre) et le principe de permanence (les paramètres indépendants du temps). Le fait essentiel qu'un arbre évolue dans un environnement donné n'est pas pris en compte. Ces modèles sont donc insuffisants pour tenter d'expliquer les processus d'évolution du système et ne sont en général applicables que dans une gamme de perturbations de faible intensité. Des améliorations importantes ont été apportées par Buongiorno et Michie (1980) ou Solomon et al (1986) pour qui certains paramètres d'évolution (le recrutement ou la croissance ou les deux) sont variables dans le temps et donc recalculés à chaque itération du modèle.

Pourquoi ce type de modèle ?

- Il est relativement simple à mettre en oeuvre ;
- il s'applique à des données de croissance individuelle disponibles sur une période de temps courte avec une précision faible (durée inférieure à 10 ans et précision de mesure sur la circonférence de 0,5 cm) ;
- il s'applique à des données où la position de chaque arbre n'est pas connue avec précisions (données disponibles à Paracou, mais rarement disponibles dans les inventaires forestiers classiques d'aménagement) ;
- il permet une approche théorique des principes généraux d'évolution d'une forêt tropicale humide (rôle des chablis dans la sylvigénèse, présence d'espèces à comportements différenciés, explosion démographique de certaines espèces après perturbation du couvert).

2. Etablissement du modèle

On établit d'abord le graphe de devenir d'un individu (appartenant à la classe de diamètre i au temps t) entre les temps t et $t+1$. Il se résume à trois possibilités : rester vivant dans la classe de diamètre initiale, rester vivant et changer de classe de diamètre ou enfin mourir. Ces événements se produisent avec les probabilités p_{ii} , p_{ij} et m_i dont la somme est égale à 1. Ces probabilités peuvent s'écrire sous forme d'une matrice carrée $P_{ij,t}$. Connaissant le vecteur d'état du peuplement au temps t ($N_{i,t}$, effectifs par classes de diamètre), on en déduit le vecteur au temps $t+1$ ($N_{i,t+1}$) en multipliant $N_{i,t}$ par $P_{ij,t}$ et en ajoutant un vecteur correspondant au recrutement de nouveaux individus ($R_{i,t}$). On peut introduire également une perturbation en rajoutant un terme $h_{i,t}$ (vecteur des effectifs récoltés (par exploitation ou éclaircie)) et le modèle complet s'écrit alors :

$$N_{i,t+1} = P_{ij,t} * (N_{i,t} - h_{i,t}) + R_{i,t}$$

Les paramètres de la matrice de passage peuvent être estimés par simple comptage entre deux inventaires des proportions d'individus selon leur devenir. Dans ce cas les paramètres sont constants dans le temps. On peut aussi les estimer par des équations de récurrence en fonction de variables liées au peuplement ou à l'environnement. Ces équations sont déterminées à partir de connaissances théoriques sur le fonctionnement de l'écosystème (jeu d'hypothèses biologiques simples avec en particulier la notion de chablis comme moteur de la sylvigénèse) et de l'ajustement à des données observées. Le caractère plus ou moins général de ce modèle dépend donc de la définition donnée aux modèles sous-jacents à l'évaluation des différents paramètres (Lebreton et Millier, 1982). Les paramètres sont calculés par régression sur des quadrats. Une fois établies les équations d'évolution des paramètres en fonction de l'état du peuplement, les projections sont réalisées en deux étapes :

- description de l'état du peuplement au temps t et calcul de la valeur des paramètres,
- projection sur la période $t+1$,

Le modèle peut être utilisé ensuite de manière déterministe ou aléatoire.

3. Premiers résultats

Différents modèles ont été testés : modèles sans régulation, modèles avec régulation linéaire du recrutement et des probabilités de passage (déterministe puis aléatoire).

Pour le modèle sans régulation, la plus grande valeur propre de la matrice P_{ij} (notée λ) et le vecteur propre qui lui est associé déterminent respectivement le taux de croissance de la population et la structure diamétrique à l'état stable. Ce modèle donne une image de la stabilité du peuplement (proche de 1 en parcelles témoins), de la variabilité spatiale et temporelle de sa dynamique, des différences entre groupes d'espèces et de l'effet de l'exploitation (avec par exemple un λ égal à 1,7 pour les espèces pionnières dans les parcelles exploitées). Il n'est par contre pas utilisable pour la projection d'un peuplement perturbé car l'hypothèse de permanence n'est plus vérifiée dans ce cas.

Le second modèle est établi avec régulation linéaire du recrutement et des probabilités de passage. On a estimé ces paramètres pour chaque classe de diamètre en fonction de l'état du peuplement (caractérisé par les effectifs et surfaces terrières totaux et leurs variations par rapport à la situation initiale). Il aboutit à stabiliser l'effectif et la structure diamétrique d'un peuplement naturel au bout de 50 ans environ. Quand la stabilité est atteinte, l'effectif et la structure diamétrique sont tels que les équations linéaires posées comme règles liant les paramètres de dynamique et l'état du peuplement sont parfaitement respectées. La situation stable est donc indépendante de l'état initial du peuplement et représente bien un peuplement moyen (on ne fait pas intervenir en particulier de facteur site lié à la situation du carré étudié). Dans des parcelles perturbées artificiellement le même état stable est atteint entre 40 et 60 ans après la perturbation.

4. Perspectives

Le modèle précédent sera amélioré en utilisant des relations non linéaires et en estimant simultanément les paramètres (Mengel et Roise, 1990). Puis on intégrera dans le modèle non linéaire la notion de groupe d'espèces de façon à rendre compte de la modification de la composition floristique dans les parcelles traitées. On peut également envisager d'intégrer un autre compartiment dans le modèle pour rendre compte de la régénération (et non plus seulement du recrutement). La validation du modèle se fera ensuite sur les données disponibles à Paracou, au Bafog (dynamique observée sur près de 40 ans) ou sur Arbocel (exploitation par coupe rase suivie depuis 16 ans). Enfin des simulations permettront de rendre compte de la réaction de ce peuplement à des perturbations sylvicoles d'intensité variée.

AGNES DOLIGEZ

CURRICULUM VITAE

NOM : DOLIGEZ

Prénom : Agnès

Date de Naissance : 07/04/70

Nationalité : Française

FORMATION

1993 - 1994

1^{ère} et 2^{ème} années de thèse au CIRAD-Forêt à Nogent-sur-Marne et à Kourou (Guyane) dans le cadre de la formation doctorale "Ressources génétiques et amélioration des plantes" de l'INA-PG (Institut National Agronomique de Paris-Grignon) : étude de la diversité génétique intraspécifique de plusieurs espèces d'arbres de la forêt tropicale guyanaise, et des facteurs agissant sur cette diversité, en vue d'un aménagement durable permettant la gestion in situ de cette diversité.

1992 - 1993

DEA "Ressources génétiques et amélioration des plantes" à l'INA-PG (année de spécialisation de l'INA-PG).

Obtention du diplôme d'ingénieur agronome de l'INA-PG.

1989 - 1991

1^{ère} et 2^{ème} années de l'INA-PG.

1987 - 1989

Classes préparatoires Math Sup Bio et Math Spé Bio à Versailles.

STAGES

mars-sept 1992

Stage de DEA au CIRAD-Fôret à Nogent-sur-Marne et Pointe-Noire (Congo) : analyse de deux plans de croisement factoriels interspécifiques déséquilibrés d'Eucalyptus et comparaison de différentes méthodes d'estimation des composantes de la variance en modèle linéaire à effets aléatoires.

nov-déc 1990

6 semaines au laboratoire de phytopathologie de l'INA-Paris : localisation d'un gène de régulation de la synthèse de la chrysobactine chez *Erwinia chrysanthemi* (utilisation de la technique de mutagenèse par insertion d'un élément mini-m).

été 1990

6 semaines de stage niveau technicien dans un laboratoire d'analyses micro-biologiques pour l'industrie agro-alimentaire à Dublin (Irlande).

1989 - 1990

7 semaines dans une exploitation agricole laitière de Seine-Maritime : analyse technico-économique du fonctionnement de l'exploitation et étude de la région agricole correspondante.

LANGUES

Anglais : très bon niveau écrit et parlé (plusieurs séjours longue durée dans des pays anglophones)

Allemand et espagnol : bonnes notions de base

ACTIVITES DIVERSES

Chorale, cyclisme, gymnastique, animation de groupes d'enfants, organisation du gala de l'INA-PG, peinture, philatélie.

BUDGET DE FONCTIONNEMENT

BUDGET 1994

| | |
|------------------------|------------------|
| . Déplacements | 7 000 FF |
| . Indemnité | 10 000 FF |
| . Equipement | 12 000 FF |
| . Fonctionnement | 35 000 FF |
| | <hr/> |
| TOTAL | 64 000 FF |

Ce budget est utilisé en partie en Guyane et en partie à Nogent.

ETAT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX DU CHERCHEUR

EVALUATION DU PROGRAMME FORÊT NATURELLE EN GUYANE :

Thèse Agnès DOLIGEZ

OBJECTIF DE LA THESE :

On se propose d'entamer une étude sur la diversité génétique intraspécifique des espèces d'arbre de la forêt tropicale humide de Guyane, dans le but de fournir aux gestionnaires les éléments nécessaires pour aménager la forêt tout en conservant *in situ* un maximum de diversité génétique. Jusqu'à maintenant, aucune étude génétique n'a été faite sur ces espèces. Une première partie du travail consistera donc à quantifier cette diversité et à caractériser sa structuration dans l'espace, pour plusieurs espèces. Cependant, la quantité des espèces potentiellement intéressantes pour l'exploitation étant assez élevée (plusieurs dizaines), il n'est pas possible de faire une étude génétique approfondie pour chacune. C'est pourquoi on s'attachera également à mieux comprendre les mécanismes qui agissent sur le niveau et la structure de cette diversité intraspécifique.

1ère partie : partie descriptive

On a choisi de caractériser la diversité génétique intraspécifique non seulement pour des espèces déjà exploitées et commercialement intéressantes, mais aussi pour des espèces ayant entre elles des caractéristiques écologiques (structure spatiale de l'espèce, dissémination des graines) et de reproduction (système de reproduction, pollinisation) bien contrastées. Cela permettra en effet d'apprécier l'influence de ces caractéristiques sur la diversité génétique et sa structure, pour les arbres de la forêt tropicale (partie explicative).

Cette description se fera en utilisant le polymorphisme enzymatique qui peut être détecté grâce à la technique de l'électrophorèse. A partir de ces données seront estimés différents paramètres classiques de diversité et de structuration intra- et inter-populations de cette diversité. Ces marqueurs moléculaires permettront également d'estimer le taux d'allopécondation, qui est une caractéristique du système de reproduction.

Il a été prévu de faire cette étude sur 4 espèces (*Bocoa prouacensis*, *Carapa procera*, *Dicorynia guianensis* et *Eperua falcata*), sachant que ces résultats pourront être complétés par ceux obtenus par l'INRA de Kourou sur 4 autres espèces (*Eperua grandiflora*, *Ocotea rubra*, *Virola melinonii* et *Vouacapoua americana* plus *Dicorynia guianensis*).

Le tableau 1 récapitule quelques caractéristiques de ces 8 espèces.

2ème partie : partie explicative

D'une part, on utilisera les résultats de la 1ère partie pour étudier la relation existant entre les différentes caractéristiques des espèces et leur diversité.

D'autre part, on développera un modèle de génétique des populations ayant le même but, mais qui permettra de mieux faire varier les paramètres d'entrée (caractéristiques des espèces). Ce modèle prenant en compte la structure spatiale intrapopulation, il sera étudié par simulation de l'évolution d'une population, puis de plusieurs populations; on pourra enfin simuler dans cette (ces) population(s) des interventions sylvicoles afin d'avoir une idée de leur effet sur la diversité de l'espèce.

DEROULEMENT ET ETAT D'AVANCEMENT DE LA THESE :

Les différentes étapes du travail effectué depuis décembre 1992 sont décrites ici.

Partie estimation des paramètres génétiques par l'utilisation de marqueurs isoenzymatiques:

Bibliographie :

- Sur la démographie, la biologie de la reproduction et la génétique des populations de différentes espèces d'arbres en forêt tropicale et sur le fonctionnement de l'écosystème (en particulier dynamique liée aux chablis);
- Sur la structure spatiale, la phénologie, le système de reproduction, la pollinisation, la dissémination des graines et le statut successional des 60 espèces d'arbre inventoriées sur le dispositif de Paracou (janvier-février 1993).

Choix des espèces à étudier :

Choix de 4 espèces à étudier dans le cadre de la thèse (sachant que ces données seront complétées par les données de l'INRA de Kourou) :

- *Carapa procera* : distribution spatiale aléatoire, dissémination des graines par des rongeurs jusqu'à 30 m, pollinisation entomophile;
- *Bocoa prouacensis* : distribution spatiale aléatoire, dissémination des graines par des chauves-souris et des singes jusqu'à plus de 50 m, pollinisation entomophile;
- *Eperua falcata* : distribution en plaques de 5-10 ha, dissémination des graines par éjection jusqu'à 30 m, pollinisation par les chauves-souris;
- *Dicorynia guianensis* : distribution en petits agrégats de 1-3 ha, dissémination anémochore jusqu'à 50 m, pollinisation entomophile.

Récolte de matériel pour les mises au point :

Ces récoltes ont été effectuées lors d'une première mission en Guyane en mars 1993 (3 semaines). Selon les espèces, 9 à 30 descendances ont été récoltées et plantées en serre à Nogent-sur-Marne. Le taux de germination était supérieur à 90 % pour *Carapa procera* et *Eperua falcata*, mais de l'ordre de 40 % seulement pour *Bocoa prouacensis*. Les graines de *Dicorynia guianensis* ont été plantées et analysées par Anne-Marie RAMOS en stage à Nogent-sur-Marne en juillet-août-septembre 1994.

Mises au point :

Les mises au point nécessaires pour adapter la technique d'électrophorèse des isoenzymes sur gel d'amidon et gel d'acrylamide (conditions d'extraction, de migration et de révélation), aux 3 premières espèces ont été effectuées au laboratoire de génétique du CIRAD-Forêt à Nogent-sur-Marne, entre juillet 1993 et février 1994 (temps partiel). Les mises au point sur *Dicorynia guianensis* sont prises en charge par l'INRA de Kourou.

Les systèmes lisibles obtenus sont :

- Pour *Carapa procera* (Carapa) :
(sur feuilles juvéniles, 150 ml de tampon d'extraction pour 100 mg de feuille)
ME, GOT, ENP, EST, AAP et GDH sur gel d'acrylamide (système tris-borate-EDTA pH 8,3)
SKD, IDH, PGM, PGD, LAP et PRX sur gel d'amidon (système histidine-citrate pH 6,5)

- Pour *Eperua falcata* (Wapa):
(sur feuilles adultes, 300 ml de tampon d'extraction pour 100 mg de feuille)
ENP, FDH, ALD, EST, ACP, G6PDH, GOT, AAP, ME et CAT sur gel d'acrylamide
(système tris-borate-EDTA pH 8,3)
- Pour *Bocoa prouacensis* (Boco):
(sur feuilles adultes, 300 ml de tampon d'extraction pour 100 mg de feuille)
ME, FDH, GOT, ACP, PRX, ENP, EST et LAP sur gel d'acrylamide (système trisborate-EDTA pH 8,3)

Déterminisme génétique :

On disposait pour chaque espèce de quelques descendance issues de pollinisation libre.

Pour *Carapa procera*, on a émis des hypothèses concernant le déterminisme génétique de 7 des enzymes lisibles. Toutefois, il semblerait que cette espèce soit polyploïde (d'après certains zymogrammes et le nombre chromosomique élevé : 58), ce qui pourra remettre en cause certaines hypothèses d'interprétation génétique déjà émises.

Pour *Eperua falcata*, aucune hypothèse de déterminisme génétique n'a encore pu être émise car il n'y avait quasiment pas de polymorphisme dans les descendance récoltées en 1993.

Pour *Bocoa prouacensis*, on a pu émettre des hypothèses de déterminisme génétique pour 7 enzymes sur les 8 qui montraient une bonne lisibilité. Cette espèce ne semble pas être polyploïde (d'après les zymogrammes seulement, le nombre chromosomique n'étant pas encore connu). Les 8 enzymes sont polymorphes.

Pour les 4 espèces, des comptages de chromosomes en métaphase sont prévus en collaboration avec l'ESV d'Orsay.

Récoltes de matériel :

En mai 1994, 5 populations d'*Eperua falcata* (Wapa) d'une trentaine d'arbres par population ont été récoltées (2 graines par arbre) dans différentes parties de la Guyane :

- 2 populations sur le dispositif de Paracou (parcelles 13-14 et parcelle 16)
- une population sur la piste de Saint Elie
- une population dans la forêt de Tibourou
- une population dans les placeaux II et IV du BAFOG

Pour chaque lieu de récolte, quelques descendance (au moins 10 graines par semencier) ont également été récoltées, mais dans aucun de ces lieux on n'a pu trouver 10 descendance ou plus. On n'a pas pu faire pour cette espèce le même type de récolte que pour le Carapa, car la fructification était trop peu abondante cette année.

En avril 1994, 67 descendance de *Carapa procera* (15 graines/semencier) et 2 graines par arbre pour 78 arbres supplémentaires, ont été récoltées sur les parcelles du dispositif expérimental de Paracou (Guyane).

NB : une telle récolte a pris 4 semaines à temps plein.

Du cambium des 4 espèces a été également récolté pour des mises au point.

Electrophorèses :

Après quelques mises au point supplémentaires au laboratoire de Kourou (juin 1994), 47 descendances de Carapa ont été analysées (10 graines/semencier) ainsi qu'une graine par arbre pour 90 Carapas supplémentaires (de début juillet à mi-octobre 1994). On a ainsi pu déterminer le génotype de chaque graine pour 10 loci polymorphes plus quelques loci monomorphes.

On a également obtenu le profil enzymatique de 5 enzymes pour chacune des graines des 5 populations de Wapa récoltées, ainsi que pour quelques descendances. Cependant, il n'est pas sûr qu'il soit possible d'utiliser ces données; l'interprétation des zymmogrammes est en cours.

Traitement des données :

Il est actuellement en cours.

PARTIE MODELISATION :

- Bibliographie sur le fonctionnement dynamique et génétique des métapopulations, sur la structure spatiale intrapopulation au niveau génétique chez les plantes, sur l'évolution dans les populations structurées en classes d'âge, et sur divers aspects de génétique des populations et de la gestion des ressources génétiques.
- Choix des hypothèses et des paramètres du modèle (bibliographie + analyse des données intéressantes fournies par les inventaires effectués sur le dispositif de Paracou) (avril 1993)
- Etude de la démographie et de la structure spatiale de quelques espèces, ainsi que des effets des traitements sylvicoles sur ces 2 points, à partir des fichiers de données du dispositif expérimental de Paracou (avril 1993)
- Apprentissage du langage de programmation C (mai 1993)
- Ecriture du programme de simulation (juin à décembre 1993, temps partiel)
- Adaptation du programme calculant le test de Diggle dans le but de tester l'hypothèse selon laquelle, pour certaines espèces au moins, la structure spatiale de l'espèce, dépend surtout du mode de dissémination des graines et des hétérogénéités spatiales du milieu; test de cette hypothèse (janvier-février 1994, temps partiel)
- Début de réécriture du programme de simulation pour optimiser le temps d'exécution, qui s'est révélé trop limitant à l'issue de la première programmation (mars 1994).

| NOM VERNACU- LAIRE | ESPECES | FAMILLE | DISTRIBU- TION GEOGRA- PHIQUE | REPARTI- TION DU SPATIALE * | EXPRES- SION DU SEXE | PHENOLOGIE FLORAISON | POLLINISATION ** | DISSEMINATION DES GRAINES | DENSITE PARACOU | INTERET ECONOMI- QUE |
|--------------------------|-------------------------|----------------------|---|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Wapa | Eperua falcata | caesalpinia- ceae | Guyanes, NE Bresil | grand agrégat | M | annuelle bimodale | chauve-souris LD | ballochorie < 30 m | 10 arb/ha | + |
| Wapa | Eperua grandiflora | caesalpinia- ceae | Guyanes | grand agrégat | M | irrégulière synchrone | insectes, oiseaux, MD | barochorie < 30 m | 3,8 arb/ha | + |
| Wacapou | Vouacapoua americana | caesalpinia- ceae | Guyanes, Bresil | grand agrégat | M | irrégulière très synchrone | insectes CD | rongeurs < 50 m | 2,3 arb/ha | +++ |
| Angélique | Dicorynia guyanensis | caesalpinia- ceae | Guyanes, Bresil | petit agrégat | M | régulière synchrone | insectes MD | anemochorie < 50 m | 3,4 arb/ha | +++ |
| Boco | Bocoa prouacensis | caesalpinia- ceae | Guyanes | agrégat diffus | M | bisannuelle régulière | insectes CD | singes, chauve- souris, > 50 m | 2,1 arb/ha | 0 |
| Carapa | Carapa procera | meliaceae | Guyanes, Bresil, Afrique Ouest | agrégat diffus | M | régulière étalée | insectes CD | rongeurs < 50 m | 1,1 arb/ha | + |
| Yayamadou montagne | Virola melinonii | myristica- ceae | Guyanes | dispersée | D | régulière étalée | petits insectes CD | oiseaux, kinkajou > 50 m | 0,75 arb/ha | + |
| Grignon franc | Ocotea rubra | lauraceae | Trinidad, Guyanes, NE Bresil | dispersée | M | irrégulière synchrone | insectes coléoptères CD | barochorie, oiseaux, > 50 m | 0,7 arb/ha | +++ |